

## YAPAY MODEL KAYA MALZEMESİNDEKİ YAPISAL FARKLILIKLARIN ELEKTRİKSEL İLETKENLİK YÖNTEMİ İLE TESPİTİ

Niyazi BİLİM, İhsan ÖZKAN

*Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Müh. Bölümü, KONYA*

**ÖZET:** Bu çalışmada, kaya maddelerindeki yapısal değişikliklerin elektriksel iletkenlik yöntemi kullanılarak hasarsız ve kolay bir şekilde tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, homojen yapay kaya maddeleri üzerinde çalışmaların yapılmasına karar verilmiştir. Yapay kaya maddesi olarak homojen bir özellik sergilemesinden dolayı gaz beton malzemesi seçilmiştir. Homojen özellik gösteren başka yapay malzemeler ile gaz beton malzemesinden 4 modele bağlı 17 farklı yapay model kaya birimi oluşturulmuştur. Yapısal bileşimleri bilinen bu kaya birimlerinden hazırlanan 85 adet numune üzerinde elektriksel iletkenlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tek parça olan gaz beton numunelerde, potansiyel fark 20-30 volt olmuştur. Üç parçadan oluşan model numuneler üzerinde yapılan deneylerde voltaj değişimlerinin büyüdüğü (5-50 volt) görülmüştür. Üç parçadan oluşan ancak içine gizli dolgu maddesi konan numunelerde voltaj değişimlerinin 5-40 volt arasında olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elektriksel iletkenlik; Kaya maddesi; Gaz beton

### Determining Structural Variation In Artificial Model Rock Material By Electrical Conductivity Method

**ABSTRACT:** In this study, it is purposed to determine easily and without any damage the structural features of rock materials by using electrical conductivity methods. Therefore, it is decided that homogeneous artificial rock materials are studied with electrical conductivity method. Gas concrete material was chosen as synthetic rock material because of its homogeneity. Some 17 artificial rock units based on basic 4 models have been prepared with gas concrete material and other homogeneous artificial materials. 85 electrical conductivity tests have been carried out on these model samples preparing from these rock units, recognizing structural combinations. Potential difference has been 20-30 volt in samples which was single piece. It has been seen that variation of voltage on model samples formed from three pieces range from 5 V to 50 V. In addition, variation of voltage of samples which have three pieces and potential filling material has been carried out between 5 V and 40 V.

**Key Words:** Electrical conductivity; Rock material; Gas concrete

### GİRİŞ

Kaya malzemesi ve kütlesi homojen olmayan bir yapı sergiler. Bu durum kaya yapılarının mühendislik tasarımlarında girdi parametrelerinin belirlenmesinde bir takım sorunlara neden olmaktadır. Homojen olmayan ve süreksizlikler içeren bu yapının fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri hakkında

bilgi sahibi olabilmek için çeşitli standart deneyler geliştirilmiştir. Laboratuarda tatbik edilenlerin bazıları için özel numunelerin hazırlanması gerekmektedir. Arazide uygulananlar ise genelde zaman alıcı, zor ve pahalıdır. Kaya madde ve kütlesinin içerisinde bulunan süreksizlik ve tabaka düzlemlerinin belirlenmesi kaya mühendislik yapılarının tasarımında oldukça önemlidir.

Malzemelerin elektriksel davranışları malzeme hakkında birçok bilgi verebilmektedir. Bu yüzden, malzemelerin elektriksel özelliklerinin bilinmesi ile malzemelerin yapısal içeriklerinin belirlenmesi konusunda birçok çalışma yapılmaktadır.

Cisimlerin elektrik akımını iletme yeteneği iletkenlik olarak adlandırılmaktadır. Elektron, taşıdığı enerjiyi, iletkenin bir ucundan diğer ucuna kendi başına iletmemektedir. Elektrik enerjisinin iletimi, elektrondan elektrona yük aktarılması yoluyla olmaktadır. Elektriksel yük taşıyıcılardan, elektronlar ile yayılan eksi yüklü iyonlar (anyon) eksi yüklü taşıyıcı, elektron boşlukları ile yayılan artı yüklü iyonlar (katyon) ise artı yüklü taşıyıcılardır. Bir voltaj uygulandığı zaman, bir materyalin elektriği geçirme yeteneği iletkenlik olarak tanımlanırken bunun tersi olarak akımın akışına gösterilen zorlukta direnç olarak ifade edilir.

Kayaçların elektriksel iletkenlikleri düşüktür. Yani yalıtkan madde sınıfına girmektedirler. Kaya maddelerinin içerdiği su miktarına bağlı olarak iletkenlikleri değişebilir ve bu değişim kayanın porozitesiyle ve kayayı oluşturan dokunun suya karşı ilgisiyle doğru orantılı olmaktadır. Bazı araştırmacılar porozite ile kayanın elektriksel direnci arasında ilişki olduğunu ileri sürmüştür (Boyce, 1968; Kermabon ve diğ., 1969; Keller, 1974). Kaya dokusu ve kayaçta bulunan boşluk, çatlak ve süreksizlikler, kayacın su içirme kapasitesini ve buna bağlı olarak da iletkenliğini artırmaktadır. Bazı kayaçlar bünyelerine çok fazla su alabilmelerine karşın (kıltaşı, kireçtaşı vb.) bazıları ise daha az suyu bünyesine almaktadır (kuvars, granit vb.). Kaya maddesini oluşturan farklı yapılar ise, bünyelerinde farklı su miktarlarını bulundurmaktadır. Bu yüzden suyu fazla alan bölgeler, daha fazla bir iletkenlik gösterirken az alan bölgeler ise az iletkenlik gösterecektir. Ayrıca kaya üzerinde mevcut olan kapalı dolgularda dolgu maddesi, ana kayadan daha çok suyu bünyesine alabiliyorsa bu bölgelerde daha yüksek voltaj değerleri elde edilmekte ve bu bölgelerde iletkenlik fazla olmaktadır. Bu nedenle kaya biriminin içerdiği sıvının kimyasal özelliği, kayacın iletkenliği konusunda bize bilgi vermektedir. Kayalarda elektriksel direnç ve iletkenlik deneylerinde

tuzlu su çözeltisi yaygın kullanıma sahiptir (Chen ve Lin, 2004).

Kayaların elektriksel özellikleri; doğadaki durumu, porozite miktarı, sıcaklık ve basınç gibi özelliklere bağlı olarak değişiklik gösterir (Llera ve diğ., 1990). Bazı araştırmacılar kayaların elektriksel özdirenç değerleri ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkileri test etmişlerdir. Farklı kaya birimleri üzerinde yapmış oldukları çalışmalar sonucunda, kayaların elektriksel özdirenç değerleri ile mekanik özellikleri arasında güçlü ilişkiler bulmuşlardır (Bilim ve diğ., 2002; Kahraman ve Alber 2006).

Kılıç ve diğ. (2004) tek eksenli basınç altında kaya malzemelerinin elektrik potansiyel davranışlarını incelemişlerdir. Sabit yük artışı ile oluşturulan basınç altında, malzemede oluşan deformasyonlar neticesinde kayalarda elektriksel potansiyel değişimleri olmaktadır. Kaya numunelerine uygulanan yükün kaldırılmasıyla, kazanmış oldukları elektrik potansiyellerinin tamamını ya da büyük kısmını kaybettiklerini belirlemişlerdir. Chen ve Lin (2004) diyabaz, kireçtaşı ve mermer üzerinde, Özkan ve diğ., (2004) ise değişik dayanımlara sahip beton malzemeler üzerinde sabit artan yükler altında elektriksel direnç ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar tek eksenli basınç altında malzemelerin elektriksel direnç değişimlerini incelemişlerdir. Kaya ve beton malzemesinin gerilme-deformasyon eğrisi ile elektriksel direnç-deformasyon eğrisi arasında sistematik bir yapının olduğunu belirlemişlerdir. Sonuçta kayaların kırılma davranışı ile elektriksel direnci arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğu sonucuna varmışlardır.

Jones (1999) yerkabuğunun elektriksel direnç özelliklerini etüt etmiştir. Elektriksel iletkenliğin sıcaklığa bağlı değişimini belirlemiş, yerkabuğunda derinlik arttıkça homojen bir yapı sergilemeye başlayan kayalardaki direncin düşüşünü tespit etmiştir. Gökay ve diğ. (2006) beton malzemelerde yapmış oldukları bir çalışmada, malzemeler üzerinde elektriksel direnç testleri yapmışlar ve beton malzemeler üzerinde yapay süreksizlikler oluşturarak elektriksel direnç değişimleri incelemişlerdir. Sonuçta, malzemenin bakir durumundaki elektriksel direnci ile süreksizlikler oluştuktan

sonraki elektriksel direnci arasında önemli farklılıkların olduğunu belirlemişlerdir.

Bu çalışmada amaç, kaya maddesi içerisindeki yapısal farklılıkları elektriksel iletkenlik metodu ile malzemenin su içermesi özelliklerinden faydalanarak hasarsız olarak tespit etmektir. Bu çalışmada homojen bir yapay madde olan gaz beton malzemesi seçilmiştir.

Gaz beton gözenekli bir yapı malzemesidir. Hammaddeleri; kuvarsit (veya kum, kumtaşı), portland çimentosu, sönmemiş kireç ve sudur. İnce toz kıvamına gelecek şekilde öğütülen bu malzemeler, su ve alüminyum tozu ilavesi ile karıştırılır. Kabartıcı katkı maddesi olarak karışıma katılan alüminyum tozunun açığa çıkardığı gaz habbeleri gaz beton hamurunun kabarması sonucu mikro gözenekli bir yapıya sahip olur. Daha çok inşaat sektöründe kullanılan gaz beton malzemesinin dayanımı 2-7.5 MPa, yoğunluğu ise 0.3-0.8 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Hazırlanan yapay model numuneler suda bekletilerek maksimum doygunluğa ulaştırılmış daha sonra ise, elektriksel iletkenlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Farklı yapısal unsurlara sahip olan numuneler üzerinde gerçekleştirilen ve aşağıda sunulan elektriksel iletkenlik deneyleri ile bu yapısal farklılıklarının tespiti olanaklı olduğu görülmüştür.

## NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

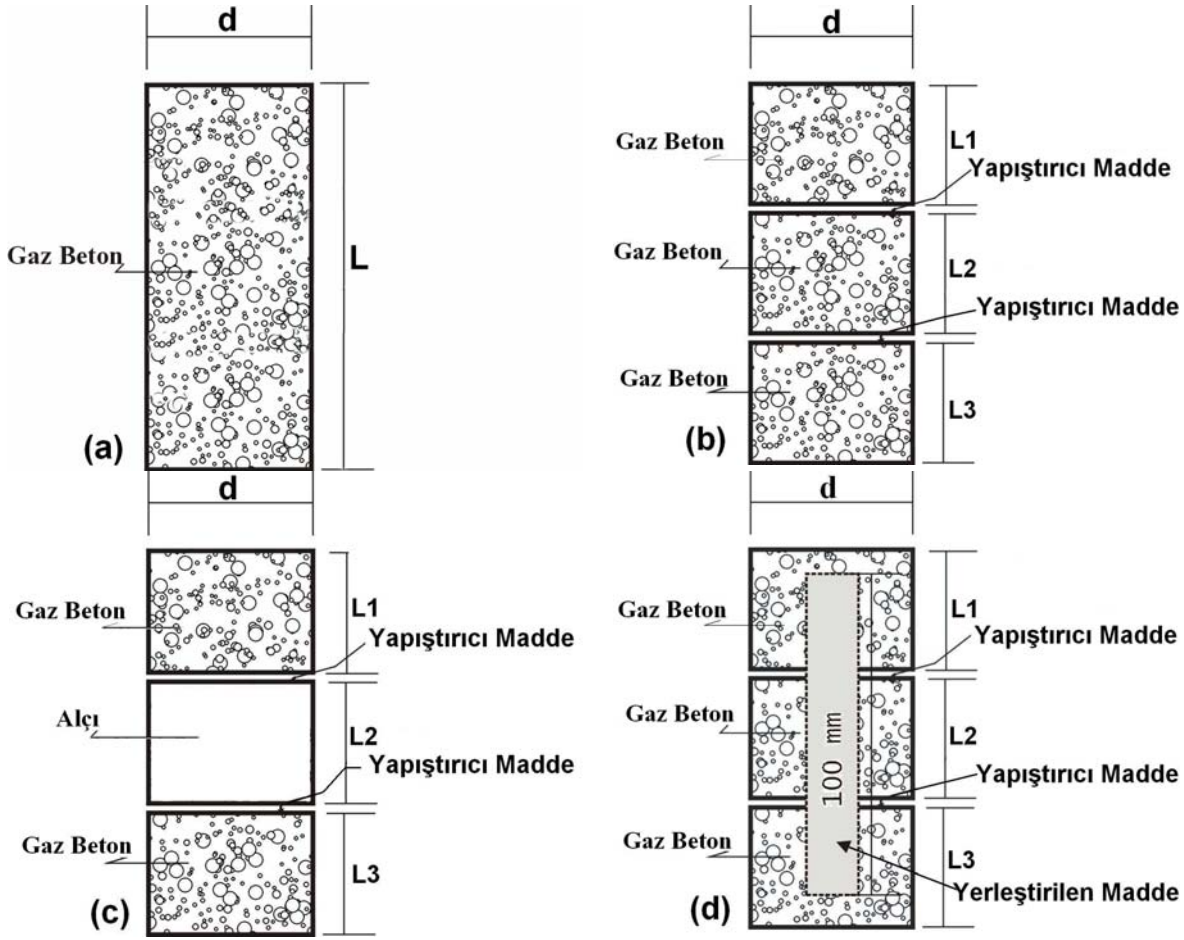
Yapay model numunelerin homojen bir madde olan gaz beton ve diğer yapay malzemelerden hazırlanması planlanmıştır. Numuneler genel olarak 4 farklı tipte oluşturulmuştur (Şekil 1). Bu çerçevede 4 ana grup için 17 farklı tipte toplam 85 adet numune oluşturulmuştur (Çizelge 1).

Basit bir kaya modelinden (Şekil 1a) daha karmaşık bir kaya modeli oluşturmak için sırasıyla Şekil 1b, 2c ve 2d modelleri oluşturulmuştur. Gaz beton malzemesinin üzerinde hiçbir değişiklik yapılmamış olan Şekil 1a'da görülen numunenin elektriksel iletkenlik davranışının bilinmesi amacıyla bu tipte numuneler hazırlanmıştır. Aralarına dolgu maddesi girmiş olan kaya malzemesini ve süreksizliklerin bulunduğu bir kaya maddesini temsilen Şekil 1b'de görülen tipte numuneler hazırlanmıştır. Farklı kaya birimlerini temsil etmesi amacıyla Şekil 1c'de oluşturulan numune tipi seçilmiştir. Kaya malzemesinin içinde gizli dolguyu temsil etmesi amacıyla da Şekil 1d'deki numune tipinin çalışmalarda kullanılmasına karar verilmiştir.

**Çizelge 1.** Elektriksel iletkenlik deneyine tabi tutulan model gaz beton numuneleri (Bilim, 2002).

Model Tipi	Adedi	Çap, d (mm)	Boy, L (mm)	L1, L2, L3 (mm)	Oluşturulan Parça Sayısı	Süreksizliği Temsil İçin Kullanılan Yapıştırıcı Madde Tipi	Model Numune İçerisine Yerleştirilen Madde
Şekil 1a	5	54	120	-	1	-	-
Şekil 1a	5	42	120	-	1	-	-
Şekil 1b	5	54	120	40,40,40	3	Gaz Beton Tutkalı	-
Şekil 1b	5	42	120	40,40,40	3	Gaz Beton Tutkalı	-
Şekil 1b	5	54	120	40,40,40	3	Oyun Hamuru	-
Şekil 1b	5	42	120	40,40,40	3	Oyun Hamuru	-
Şekil 1b	5	30	120	60,60	2	Oyun Hamuru	-
Şekil 1c	5	54	120	40,40,40	*2 GB+1 A	Silikon	-
Şekil 1c	5	42	120	40,40,40	*2 GB+ 1 A	Silikon	-
Şekil 1c	5	30	120	40,40,40	*2 GB+1 A	Silikon	-
Şekil 1c	5	54	120	40,40,40	*2 GB+1 OH	Oyun Hamuru	-
Şekil 1c	5	42	100	40,20,40	*2 GB+1 OH	Oyun Hamuru	-
Şekil 1c	5	30	100	40,20,40	*2 GB+1 OH	Oyun Hamuru	-
Şekil 1d	5	54	120	40,40,40	3	Gaz Beton Tutkalı	Oyun Hamuru
Şekil 1d	5	54	120	40,40,40	3	Gaz Beton Tutkalı	Deniz Kumu
Şekil 1d	5	42	120	40,40,40	3	Gaz Beton Tutkalı	Oyun Hamuru
Şekil 1d	5	42	120	40,40,40	3	Gaz Beton Tutkalı	Deniz Kumu

- GB: Gaz beton; A: Alçı; OH: Oyun hamuru.

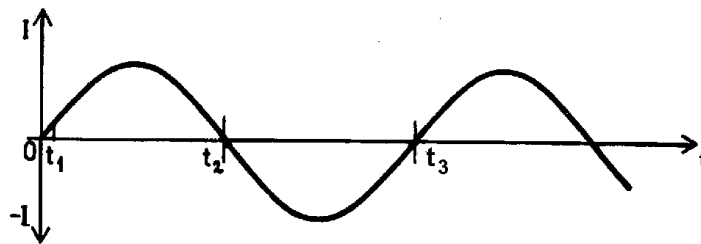


Şekil 1. Numune hazırlamada kabul edilen dört temel model (Bilim, 2002).

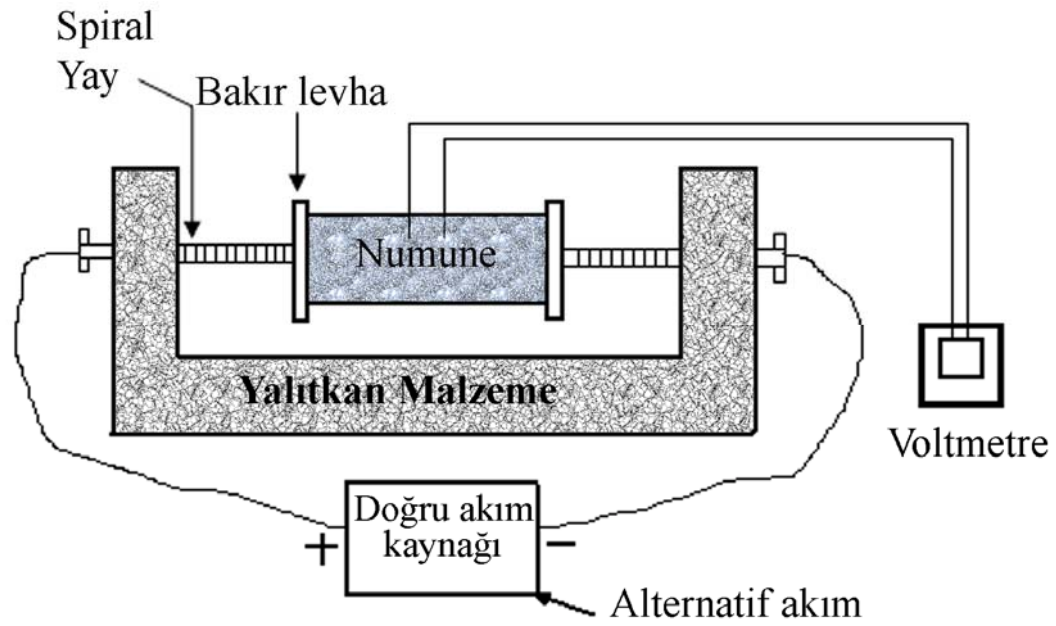
## DENEY DÜZENEGİNİN TANITILMASI

Elektriksel iletkenlik deneylerini yapmak için Gökay ve Özkan (2000) tarafından geliştirilen bir deney düzeneğinden faydalanılmıştır. Bu deney düzeneği kullanılarak numunelerin üzerinden geçen elektrik voltajının okunması amaçlanmıştır. Bilindiği gibi şehir şebekelerinde alternatif akım kullanılmaktadır. Alternatif akım malzeme üzerinde düz bir şekilde hareket etmez, zaman içerisinde

sapmalar oluşturur (Şekil 2). Kılıç ve diğ. (2004) tarafından andezit ve jips kaya birimleri üzerinde yapılmış olan deneysel çalışmalarda, doğru akım ile elde edilen sonuçların alternatif akım ile elde edilen sonuçlara nazaran daha sistematik olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple, yapılması hedeflenen deneylerde alternatif akım yerine doğru akımın kullanılmasının ölçüm hassasiyeti açısından daha doğru olacağı düşünülmüştür.



Şekil 2. Alternatif akımın karakteristiği (Güven ve diğ., 1989).



**Şekil 3.** Elektriksel iletkenlik deneyi için geliştirilen ölçüm düzeneği (Gökay ve Özkan, 2000).

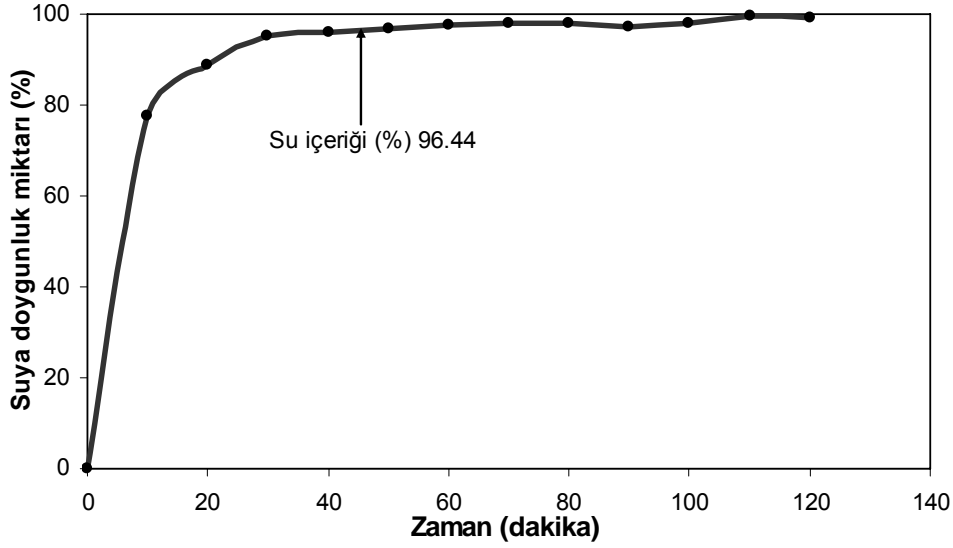
Alternatif akımı, doğru akıma çeviren cihazlara doğrultmaç denir. Bu deney setinde şehir şebekesinden alınan alternatif akımı (AC) doğru akıma (DC) çevirmek için bir doğrultmaç devresi kullanılmıştır.

Hazırlanmış olan yapay model numuneler üzerinde elektriksel iletkenlik deneylerinin gerçekleştirilmesi için Şekil 3'te görülen deney düzeneğinden faydalanılmıştır. Kullanılan bu deney setinde bulunan iki bakır plaka arasına numune yerleştirilir. Plakaların arasına yerleştirilen numunenin plaka yüzeyleri ile tam temasın sağlanması için çelik spiral yaylardan faydalanılmaktadır. Akımın numunenin bütün yüzeyine eşit yayılmasını sağlamak için iki bakır plaka arasındaki numune yüzeylerinin düzgünlüğü çok önemlidir. Bunun için tek eksenli basma dayanımına ait ISRM (1981) tarafından numune hazırlamada önerilen sınırlamalar dikkate alınmıştır. Deney setine yerleştirilen numuneye elektrik akımı verildikten sonra numune üzerinden geçen potansiyel farklar (volt) bir voltmetre ile okunabilmektedir.

## ELEKTRİKSEL İLETKENLİK DENEYLERİ

Elektriksel iletkenliklerinin ölçüldüğü kaya malzemelerinin içerdiği su, onun geçirgenliğinin ölçülebilmesini olanaklı kılmaktadır. Su, kaya malzemesinde iki türlü bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, malzeme içerisindeki gözenekler ve süreksizlik düzlemleri olurken diğeri kaya maddesinin bünyesine su alabilme yeteneğidir.

Gaz beton numunelerinden hazırlanan model kaya maddelerindeki elektriksel iletkenlik deneylerine geçmeden önce, model numunelerin yeterince suya doyurulmaları sağlanmıştır. Bu işlem için çeşme suyu kullanılmıştır. Ancak hazırlanan model numunelerde ana yapıyı oluşturan başta gaz beton olmak üzere kullanılan tüm malzemelerin zamana karşı su emebilme özellikleri çıkarılarak maksimum doygunluğa ulaştığı zamanın belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla gaz beton malzemesinin zamana bağlı olarak suyu bünyesine alabilme karakteristiği Şekil 4'de tipik bir örnek olarak verilmiştir. Şekil 4'ten görüleceği gibi 45 dakika sonra gaz beton numuneleri maksimum doygunluğa yaklaşmıştır.



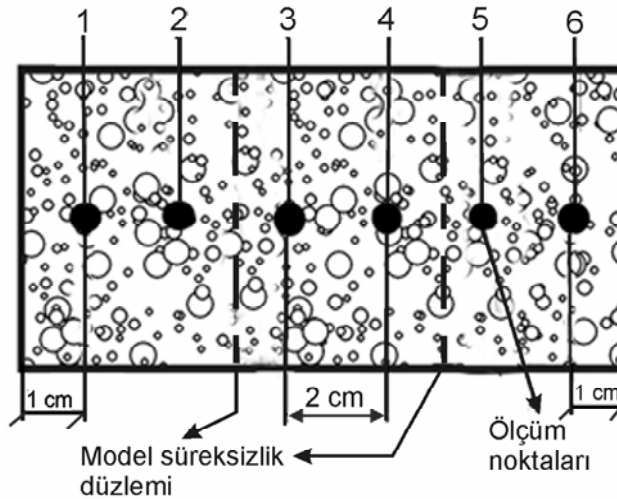
Şekil 4. Gaz beton numunesinin tipik suyu bünyesine alabilme karakteristiği (Bilim, 2002).

#### Ölçüm sistematığı ve değerlendirilmesi

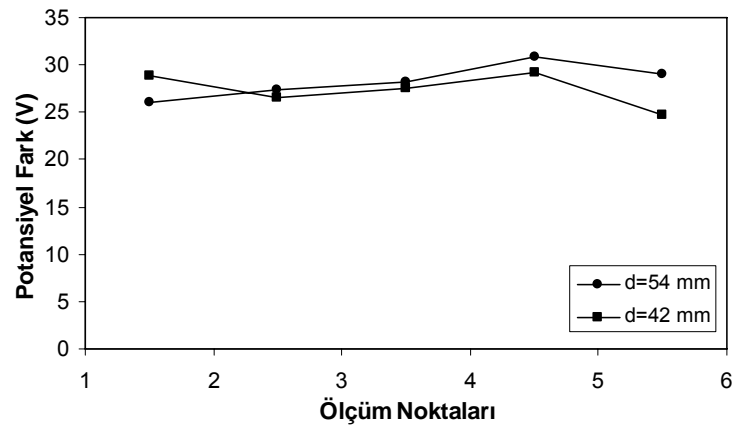
Elektriksel iletkenlik deneylerini gerçekleştirebilmek için model numuneler üzerinde uzun eksen boyunca 2 cm aralıklarla ölçüm noktaları belirlenmiştir. Bu şekilde, 2 cm aralıklarla belirlenen iki ölçüm noktası arasındaki potansiyel farkı okumak mümkün olmuştur (Şekil 5).

Üzerlerinde ölçüm noktaları belirlenen ve suda bekletilerek maksimum doygunluğa ulaştırılan model numuneler elektriksel iletkenlik deney cihazına yerleştirilmiştir (Şekil 3). Şehir şebekesinden alınan alternatif akım

(AC), doğrultmaç aracılığıyla ile doğru akıma (DC) çevrilerek numunelerin yerleştirilmiş olduğu bakır plakalara 185 DC gerilim uygulanmıştır. Ölçüm cihazı voltmetrenin bir ucu 1 nolu ölçüm noktasına diğer ucu ise 2 nolu ölçüm noktasına temas ettirilmiş ve böylece iki nokta arasındaki potansiyel fark okunmuştur. Aynı şekilde numune üzerinde tespit edilen 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, nolu noktalardaki potansiyel farklar okunarak her numunede böylelikle 5 ölçüm alınmıştır. Hazırlanan 85 model numunenin hepsinde bu şekilde elektriksel iletkenlik deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. Elektriksel iletkenlik deneyleri için numuneler üzerinde belirlenen ölçüm noktaları (Bilim, 2002).



**Şekil 6.** Herhangi bir yapısal değişiklik yapılmamış 42, 54 mm çapındaki model numune (Şekil 1a) üzerindeki voltaj değişiklikleri (Bilim, 2002).

Elektriksel iletkenlik deneyleri ilk olarak üzerinde herhangi bir yapısal değişiklik yapılmamış gaz beton numuneleri üzerinde uygulanmıştır (Şekil 1a). Herhangi bir yapısal farklılık bulunmayan farklı çaplardaki (42 ve 54 mm) silindir karot numuneler üzerinde yapılmış olan elektriksel iletkenlik deneylerinin sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi homojen bir madde olan gaz beton numunesi, her bölgesinde aynı miktarda suyu, bünyesine aldığı için, elektriksel iletkenlik değerlerinde belirgin bir farklılık oluşmamıştır. Numunelerin çapları değişse de bu eğilimin yine aynı kaldığı görülmektedir.

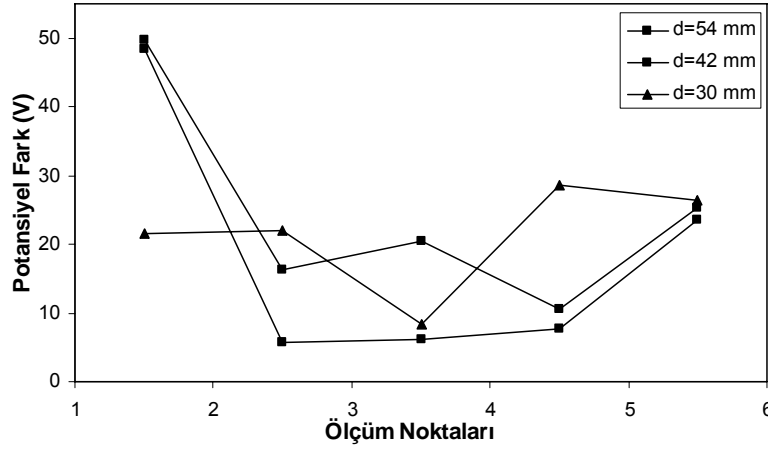
Gaz beton numunelerinden aynı uzunlukta fakat farklı çaplarda hazırlanan 3 parça, iki farklı yapıştırıcı madde ile yapıştırılmıştır (Şekil 1b). Ancak 30 mm çap değerine sahip numune iki parçadan oluşmuştur (Çizelge 1). Süreksizlikleri temsil eden yapıştırıcı maddeleri (gaz beton tutkalı ve oyun hamuru) içeren numuneler, elektriksel iletkenlik deneylerine tabi tutulmuşlardır (Şekil 7 ve 8). Yapıştırıcı madde olarak oyun hamuru ve gaz beton tutkalının kullanıldığı numunelerde, oyun hamuru ve gaz beton tutkalının olduğu bölgelerdeki (2-3 ve 4-5) voltaj değerleri farklılıklar gösterirken diğer bölgelerdeki değerler orijinal gaz beton numunesinin göstermiş olduğu değerler civarında (20-30 volt) olmaktadır (Şekil 6). Şekil 7'de görüldüğü gibi bir süreksizlik ya da tabaka düzlemini temsil eden oyun hamuru içeren noktalarda (2-3, 4-5) voltaj değerleri düşük ölçülmüştür. Bunun sebebi ara dolgu maddesi

olan oyun hamurunun suyu bünyesine almamasıdır.

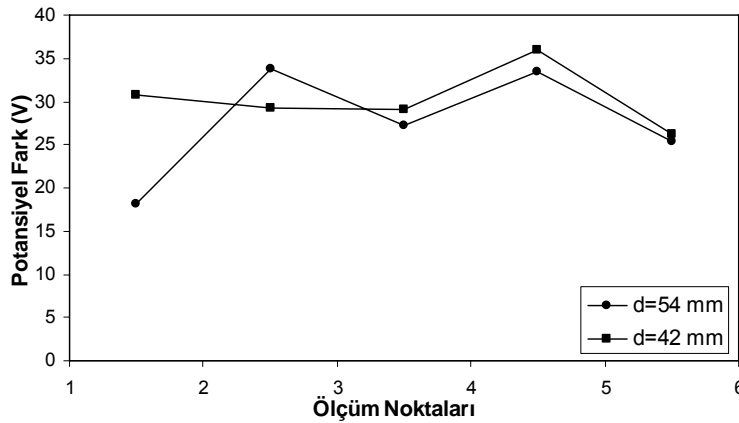
Şekil 7'de görüldüğü gibi 30 mm çap değerine sahip model numunede süreksizliği temsilen yerleştirilen oyun hamuru sadece 3-4 ölçüm noktaları arasında olmasından dolayı bu numunede düşük voltaj sadece bu bölgede okunmuştur. Aynı numunenin diğer bölgeleri gaz beton olduğu için buralarda (1-2, 2-3, 4-5, 5-6) belirlenen voltaj değerlerinin (20-30 volt) orijinal gaz beton model numunelerindeki (Şekil 6) gibi olduğu belirlenmiştir.

Bu modelin ikinci tipi için gaz beton tutkalı ile yapıştırılarak oluşturulan numunelerde (Şekil 1b) gaz beton tutkalının bulunduğu ölçüm noktalarındaki (2-3, 4-5) voltaj değerlerinin ana birimdeki voltaj değerlerinden büyük olduğu gözlenmiştir (Şekil 8). Deney sonucunun bu şekilde çıkmasının ana nedeni süreksizlik düzlemini temsilen oluşturulan gaz beton tutkalının bünyesine gaz betondan daha fazla suyu alabilmesi olmuştur.

Şekil 1b'yi temsilen hazırlanan iki farklı yapıştırıcı kullanılan model numunelerde, süreksizlik düzlemi için kullanılan oyun hamuru ve gaz beton yapıştırıcıları karşılaştırılırsa (Şekil 7 ve 8), bünyesine suyu az alan (oyun hamuru) ile bünyesine daha çok su alan (gaz beton tutkalı) malzemelerin elektriksel iletkenliklerinin oldukça farklı olduğu görülmektedir. Gerçekte kaya birimindeki bu tür ölçüm sonuçlarının farklı olacağı ve böylece yapısal farklılıkların belirlenebileceği söylenebilir.



**Şekil 7.** Oyun hamuru ile yapıştırılarak oluşturulan model numuneler (Şekil 1b) üzerinde (Çap:30, 42, 54 mm) yapılan elektriksel iletkenlik deneyleri ile tespit edilen voltaj değişiklikleri (Bilim, 2002).



**Şekil 8.** Gaz beton tutkalı ile yapıştırılarak oluşturulan model numuneler (Şekil 1b) üzerinde (Çap: 42 ve 54 mm) yapılan elektriksel iletkenli deneyleri ile tespit edilen voltaj değişiklikleri (Bilim, 2002).

Gaz beton ve alçı numunelerinin kombinasyonlarından oluşan numuneler (Şekil 1c) üzerinde yapılan deneylerde voltaj değerleri çok farklılıklar göstermiştir (Şekil 9 ve 10). Bu tip numunelerde gaz beton ve alçı malzemesi iki farklı şekilde birbirine tutturulmuştur. Birincisinde silikon diğesinde ise oyun hamuru kullanılmıştır. Silikon ile tutturulanlar üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçları Şekil 9'da sunulurken diğer oyun hamuru ile ilgili sonuçlar Şekil 10'da verilmiştir. 1-2 ve 5-6 nolu ölçüm noktalarında ölçülen değerler, gaz beton numunesi üzerinde yapıldığından, bu bölgelerdeki potansiyel farkların üzerinde hiçbir

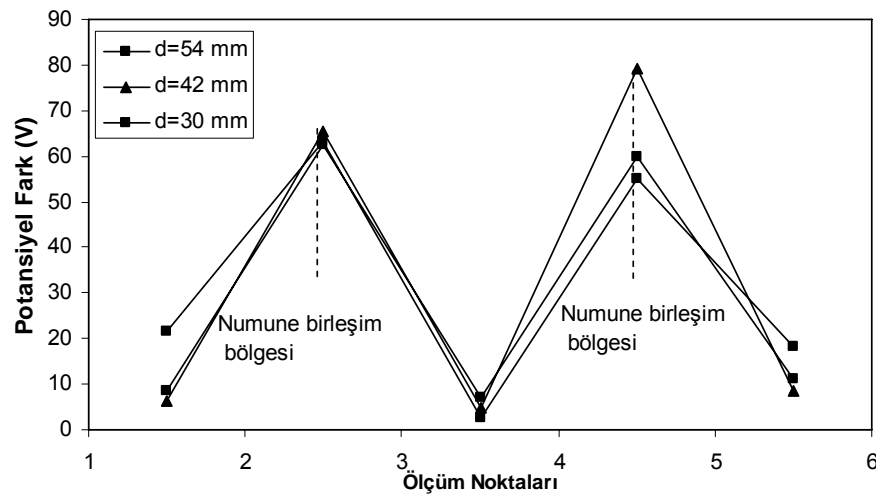
değişiklik yapılmamış gaz beton numunelerindeki gibi (Şekil 6) olduğu görülmektedir. Numunenin alçı bölgesinde ise (3-4) voltaj değerlerinin göreceli olarak daha düşük olduğu görülmektedir. Alçı ve gaz beton numunelerinin birleşim yerlerinde ise (2-3 ve 4-5) süreksizlik düzlemini temsil etmesi amacıyla silikon malzemesinin kullanıldığı yerlerde Şekil 9'dan da (2-3 ve 4-5) görüleceği üzere voltaj değerleri büyük bir artış göstermiştir. Burada beklenen numune parçalarının silikon ile birleştiği (2-3 ve 4-5) noktalarda potansiyel farkların diğer bölgelere nazaran (1-2, 3-4 ve 5-6) daha düşük olmasıydı. Ancak Şekil 9'da



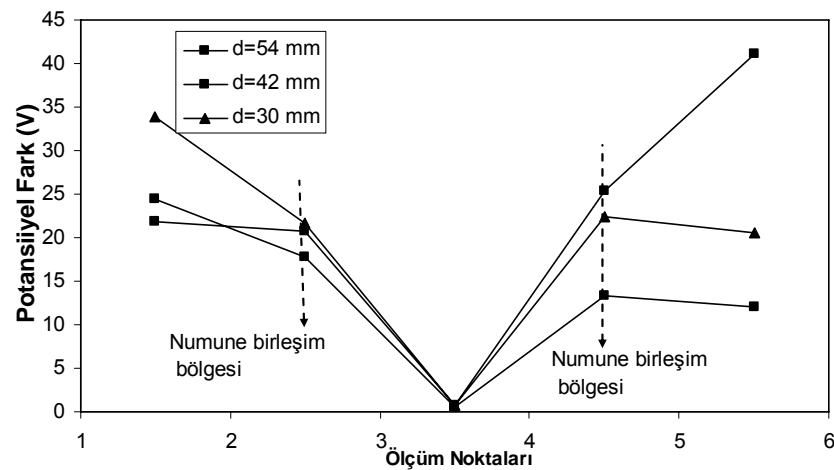
görüldüğü üzere silikonun olduğu bölgelerde potansiyel fark büyük çıkmıştır. Bu numunelerin yapıştırıldığı bölgelerdeki (2-3 ve 4-5) yaklaşık 1 mm kalınlığındaki silikonun geçirimsiz olduğu için silikonun her iki bölgesinde çizgisel olarak suyun toplandığı ve böylece bu bölgelerdeki potansiyel farkların yüksek çıktığı düşünülmektedir. Süreksizlik düzlemini temsil etmesi amacıyla kullanılan diğer malzemeli (gaz

beton tutkalı) model numunelerde ise (Şekil 10), birleşim yerlerinin (2-3 ve 4-5) elektriksel geçirgenliklerinin gaz beton ve alçı malzemelerinin elektriksel iletkenlik değerlerinin arasında kaldığı gözlenmiştir.

Şekil 1c'de ifade edilen model de iki farklı kaya biriminin ve süreksizlik düzlemlerinin elektriksel geçirgenlik deneyleri ile birbirinden ayrılabilceği görülmektedir.



**Şekil 9.** Gaz beton ve alçı birleşiminden oluşmuş model numuneler (Şekil 1c) üzerinde (Çap:30, 42 ve 54 mm) gerçekleştirilmiş elektriksel iletkenlik deneyleri ile tespit edilen voltaj değişiklikleri (yapıştırıcı madde olarak silikon kullanılmıştır) (Bilim, 2002).

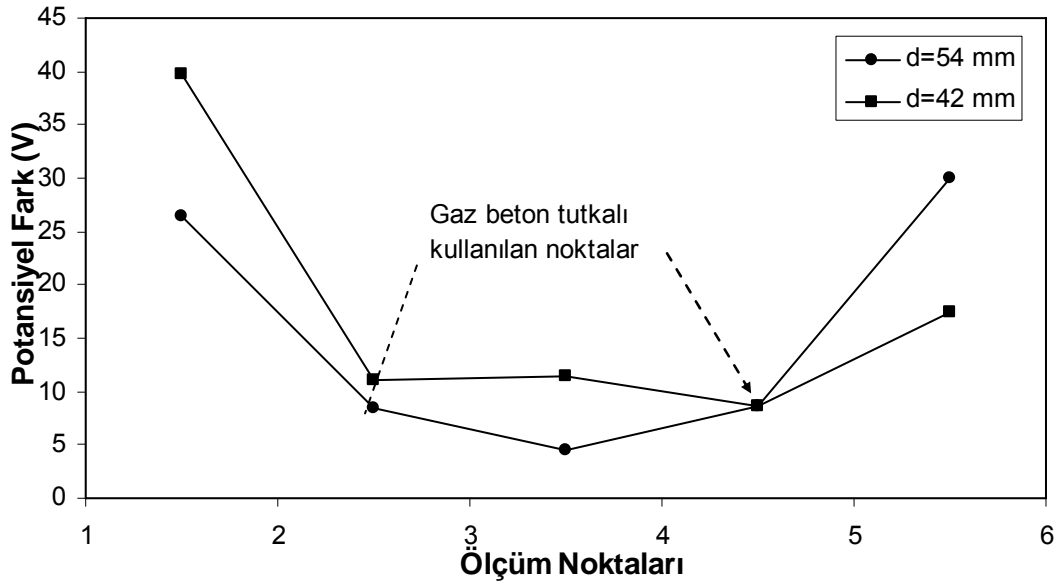


**Şekil 10.** Gaz beton ve oyun hamuru birleşiminden oluşmuş model numuneler (Şekil 1c) üzerinde (Çap:30, 42 ve 54 mm) gerçekleştirilmiş elektriksel iletkenlik deneyleri ile tespit edilen voltaj değişiklikleri (yapıştırıcı madde olarak oyun hamuru kullanılmıştır) (Bilim, 2002).

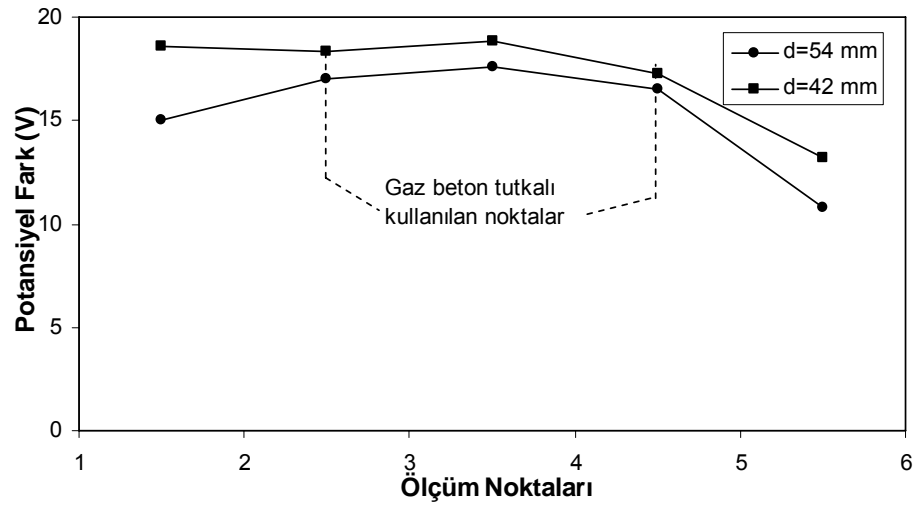
Basit bir kaya modelinden (Şekil 1a) daha karmaşık bir kaya modeli oluşturma amacıyla bu çalışmada sırasıyla Şekil 1b ve 1’c den sonra Şekil 1d modeli oluşturulmuştur. İki farklı çapta hazırlanan üç parça gaz beton numunesi gaz beton tutkalı ile birleştirilmiş ve içerisine farklı maddeler dolguyu temsil etmesi amacıyla yerleştirilerek bu tip model numuneler oluşturulmuştur (Şekil 1d). Hazırlanan bu tip model numuneler üzerinde yapılan elektriksel iletkenlik deneylerinde de ilgi çekici sonuçlar elde edilmiştir. Üç parça gaz beton numunesi delinip içerisine oyun hamuru yerleştirildikten sonra gaz beton tutkalı ile bu üç parça birleştirilerek oluşturulan numuneler üzerinde yapılan elektriksel iletkenlik değişimleri Şekil 11’de görülmektedir. Şekil 1d’de görüldüğü gibi numunenin sadece 100 mm’lik bölümüne oyun hamuru yerleştirilmiştir. Şekil 11’den de görüleceği üzere 1-2 ve 5-6 nolu ölçüm noktalarındaki voltaj değerleri, orijinal gaz beton numuneleri (Şekil 1a) üzerinde elde edilen voltaj değerlerine benzerdir (Şekil 6). İçerisinde oyun

hamuru olan ölçüm bölgelerine (2-3, 3-4, 4-5) denk gelen noktalardan elde edilen potansiyel farklar ise düşük çıkmıştır. Ancak ölçüm noktası 2-3 ve 4-5 de aynı zamanda süreksizlik yada tabaka düzlemini temsil eden gaz beton tutkalı konumlanmaktadır. Bu ölçüm noktalarında (2-3 ve 4-5) voltaj fark değerlerinin ölçüm noktası 3-4’e nazaran biraz daha yüksek olduğu Şekil 11’den izlenebilmektedir.

Şekil 1’de ifade edilen modelin içerisine yerleştirilen deniz kumlu, numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar beklenen gibi olduğu belirlenmiştir. Gizli dolgu malzemesi olarak yerleştirilen deniz kumu bünyesine su almamakla beraber taneleri arasına daha çok suyu alabildiği için gaz betonlu bölgelere (1-2 ve 5-6) nazaran bir miktar daha elektriksel iletkenliğin fazla olduğu (2-3, 3-4 ve 4-5) tespit edilmiştir. Şekil 11 ve 12’de gösterilen sonucun gizli dolguların tespitinde de elektriksel iletkenlik değerlerinden faydalanılabileceğini göstermiştir.



**Şekil 11.** İçerisine oyun hamuru yerleştirilen ve 3 parçadan oluşan model numuneler (Şekil 1d) üzerinde (Çap: 42 ve 54 mm) yapılan elektriksel iletkenlik deneyleri ile tespit edilen voltaj değışiklikleri (Bilim, 2002).



Şekil 12. İçerisine deniz kumu yerleştirilen ve 3 parçadan oluşan model numuneler (Şekil 1d) üzerinde (Çap: 42 ve 54 mm) yapılan elektriksel iletkenlik deneyleri ile tespit edilen voltaj değişiklikleri (Bilim, 2002).

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Farklı maddelerin birleşimlerinden hazırlanan numuneleri üzerinde yapılan elektriksel iletkenlik deneylerinde ilerde yapılacak çalışmalar için olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Herhangi bir yapısal değişiklik yapılmamış orijinal gaz beton numunelerinde yapılan elektriksel iletkenlik deneylerinde numune üzerinde ölçülen voltaj değerlerinin hemen hemen birbirine yakın değerlerde çıktığı görülmüştür (Şekil 6). Farklı maddelerin kombinasyonları ile hazırlanan diğer numuneler üzerinde ise voltaj değerlerinde sapmalar olmuştur. Bünyesine suyu alma karakteristikleri ana model kaya birimi olan gaz beton numunesine benzer olan numunelerde (gaz beton tutkalı) voltaj değerlerindeki sapmalar çok büyük olmazken (Şekil 8), farklı olan

numunelerde (Şekil 9 ve 10) voltaj değerlerindeki sapmalar büyük olmaktadır.

İçerisine farklı maddeler yerleştirilerek oluşturulan gizli dolgulu numunelerde dolgu malzemesinin içerisine suyun yeterince ulaşmaması durumunda yapısal farklılıkların yeterince açık bir şekilde belirlenmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Ancak eğer dolgu maddesi ile ana birim arasında elektriksel geçirgenlik değerlerinde büyük farklılık içeriyorsa buradaki yapısal farklılığın tespitinin daha iyi yapılabildiği görülmektedir (Şekil 11).

Bu çalışmadan elde edilen bilgiler ışığında heterojen malzemeler üzerinde çalışmaların denenmesi uygun olacaktır. Doğal kaya maddesinde elektriksel iletkenlik deneyleri gerçekleştirilerek elde edilecek verilerin yorumlanmasıyla kaya maddesi ve kütlesi içindeki yapısal farklılıkları, elektriksel iletkenlik metodu ile tespit etmek mümkün olabilecektir.

## KAYNAKLAR

- Bilim, N., 2002, Elektriksel direnç yöntemi aracılığıyla kaya maddelerinde süreksizliklerin belirlenmesi; Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 116.
- Bilim, N., Özkan, İ., Gökay, M.K., 2002, Elektriksel Direnç Yöntemi Aracılığıyla Kaya Maddelerinde Süreksizlik Düzlemlerinin Belirlenmesi; VI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, 121-127.

- Boyce, R.E., 1968, Electrical resistivity of modern marine sediments from the Bering Sea; *Journal Geophysics Research*, 73, 4759–4766.
- Chen, G., Lin, Y., 2004, Stress–strain–electrical resistance effects and associated state equations for uniaxial rock compression; *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 41, 2, 223-236.
- Ergin, K., 1973, *Uygulamalı Jeofizik*, Özarkadaş Matbaası, İstanbul, 371.
- Gökay, M. K., Özkan, İ., 2000, Su içeriğinin kayalardaki elektrik geçirgenliğine etkisi; 5. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, Isparta, 76-89.
- Gökay, M.K., Doğan, K., Özkan, İ., 2006, Elektriksel direnç yöntemiyle model galeriler çevresindeki çatlaklık durumunun incelenmesi; Türkiye 15. Kömür Kongresi, Zonguldak, 27-37.
- Güven, M. E., Martı, İ.B., Coşkun, İ., 1989, *Elektroteknik Cilt II*, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 386.
- ISRM. Rock Characterization Testing and Monitoring ISRM Suggested Methods, Suggested Methods for Determining Hardness and Abrasiveness of Rocks, Part 3, 1981. pp. 101-103.
- Özkan, İ., Bilim, N., Sezer, R., Gökay, M.K., 2004, Beton malzemelerde dayanım değerlerinin belirlenmesi için hasarsız yeni bir yaklaşım: Elektriksel geçirgenlik yöntemi; KAYAMEK'2004-VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Sivas, 157-167.
- Kahraman, S., Alber, M., 2006, Predicting the physico-mechanical properties of rocks from electrical impedance spectroscopy measurements; *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 43, 4, 543–553.
- Keller, G.V., 1974, *Engineering applications of electrical geophysical methods*, Subsurface Exploration for Underground Excavation and Heavy Construction; New York, American Society of Civil Engineers.
- Kermabon, A., Gehin, C., Blavier, P.A., 1969, Deep-sea electrical resistivity probe for measuring porosity and density of unconsolidated sediments; *Geophysics*, 34, 554-571.
- Kılıç, M., İnal, H.S., Bilgin, H.A., 2004, Bazı kayaların tek eksenli yükleme altında elektrik potansiyel davranışları; KAYAMEK'2004 VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, Sivas, 145-150.
- Llera, F.J., M, Sato., K, Nakatsuka., H, Yokoyama., 1990, Temperature dependence of the electrical resistivity of water-saturated rocks; *Geophysics*, 55, 576-585.
- Jones, A. G., 1999, Imaging the continental upper mantle using electromagnetic methods; *Lithos*, 48, 57-80.